

# Estimación de la Incertidumbre de Medida

www.metrycal.com

Según la definición del vocabulario internacional de metrología [1], la **incertidumbre de medida** o medición es:

“Parámetro no-negativo que caracteriza la dispersión de los valores atribuidos a un mensurando, a partir de la información que se utiliza.”

Que en otras palabras, se refiere a que la **incertidumbre de medida** es un intervalo (parámetro) que adopta solo valores positivos (no considerar el símbolo “±” que en ocasiones se utiliza) y que representa la forma en que los datos obtenidos para una **magnitud** (que es la propiedad de un fenómeno, cuerpo o sustancia que se puede expresar mediante un número y una referencia) de interés (llamada **mensurando**) se distribuyen o dispersan. En términos muy pedestres, la **incertidumbre de medida** se puede definir burdamente como la “duda” que se tiene sobre la veracidad de un valor que se determina (o mide). Como no es posible saber cuál es el **valor verdadero** de una **magnitud**, lo único que nos queda es definir un intervalo en cuál es más probable encontrarlo.

Si hacemos el ejercicio de medir con una cinta métrica común 10 veces la longitud del piso al techo de una habitación (**mensurando**), nos vamos a dar cuenta que es altamente probable que las lecturas que obtengamos no serán todas iguales, y variarán en algunos milímetros o incluso centímetros entre ellas. Entonces la primer pregunta que nos haríamos es ¿cuál es la verdadera altura de la habitación? ¿Cómo saber cuál ese **valor verdadero**?, algo típico es concluir que la altura es el valor que más repitió de los 10 valores (moda) ó su promedio. Sin embargo, aún así sabemos que ese valor que reportemos pudiera no ser el verdadero, estamos consientes de que si volvemos a medir una onceava vez, pudiera no coincidir ese nuevo valor con el reportado. Eso significa que el valor que reportamos le falta algo, y ese algo es la **incertidumbre de medida**, que como ya se mencionó es un parámetro que nos indica qué tanto varían los 10 valores medidos o qué tan dispersos están. Es común decir en metrología, que una medición no está completa si no va acompañada de una incertidumbre. Así pues, esa moda o promedio debiera ser acompañada de un intervalo donde es más probable que se encuentre el verdadero valor de la **magnitud** medida. Ej. Si el valor promedio de la altura fue de 2 654 mm, debiéramos reportarlo con su **incertidumbre de medida**, como por ejemplo 2 654 mm ± 14 mm, esto significa que es probable que la altura verdadera de la habitación pudiera ser de entre 2 640 mm y 2 668 mm, como se observa ya no es sólo un valor único, sino que es un intervalo. Más aún, ese intervalo no es “plano” sino que la distribución de los valores obtenidos nos indican que hay mayor probabilidad de que se encuentre en cierta región de ese intervalo (ej. el centro) y que es menor en otras (ej. los extremos).



Causas de que las lecturas obtenidas no sean iguales, en el ejemplo, son factores como (“**fuentes de incertidumbre**”):

- a) Alineación de la cinta métrica durante la medición (perpendicularidad).
- b) Exactitud de la cinta métrica.
- c) Resolución de la cinta métrica.
- d) Habilidad de la persona que realizó la medición.
- e) Método de medición empleado.
- f) Deformidades en la superficie del piso y techo.
- g) Condiciones ambientales (ej. Temperatura)
- h) Etc.

Por lo que cuando se realiza una medición debiera considerarse y cuantificarse, de la misma manera que en el ejemplo anterior, el efecto que produce cada una de las **fuentes de incertidumbre** y de esa manera tener un estimado de la **incertidumbre de medida**.

Así pues, la importancia de la estimación de la **incertidumbre de medida** estriba en el hecho de que cuando medimos una **magnitud** en particular, no tenemos forma de saber que el valor que obtenemos es su **valor verdadero**, por lo que debemos referir a que realmente el valor que obtenemos no es único y pudiera ser posible que se encontrara en un cierto intervalo probabilístico (distribución), que es determinado en función de los valores obtenidos y las “**fuentes de incertidumbre**” que afectan esa medición en particular.

## ¿Cómo estimar la incertidumbre de medida?

Es común que en metrología cuando se escucha la palabra “estimar la **incertidumbre de medida**” nos estremezamos por solo imaginar la supuesta complejidad para determinarla y formemos una barrera en el subconsciente que nos complica su aprendizaje. Causas de esta impresión de complejidad han sido, en gran parte, por el desconocimiento de la metodología de estimación y por otro lado nuestro alejamiento de los conceptos básicos de matemáticas y estadística; conceptos que en la mayoría de las veces fueron dominados durante nuestra formación escolar en niveles medio superior y superior.

Sin embargo, en la vida cotidiana realizamos continuamente estimaciones de **incertidumbre de medida** para una gran variedad de **magnitudes**, sin darnos cuenta, aunque de manera subjetiva. Ejemplos de estas estimaciones son cuando decimos “La ciudad de México se localiza entre 120 km y 150 km de la ciudad de Puebla” o “ese automóvil debe viajar entre 180 km/h y 200 km/h”

o “esa persona debe tener de 20 a 25 años de edad”; en cada uno de los casos anteriores estamos realizando un “estimado” del intervalo donde se localiza el verdadero valor de esa **magnitud** de interés (**mensurando**). En estos ejemplos, el observador se convierte en el instrumento que realiza una medición de longitud, velocidad o tiempo, respectivamente. El estimado se basa en la mejor aproximación que se tiene sobre la magnitud de interés y depende de la capacidad del observador (instrumento de medición) y de otros factores externos que influyen en ese estimado (**magnitudes de influencia**), como la trayectoria en que se estimó la distancia entre México-Puebla (recta o sobre carretera), o la distancia de observación al vehículo, en el caso de velocidad, o las características físicas de la persona que podrían “enmascarar” su edad real, como su estatura.

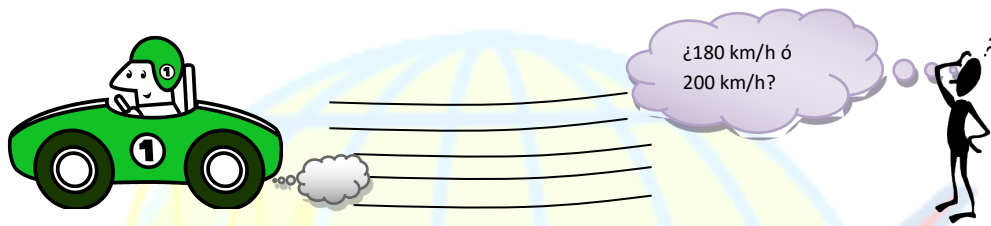


Figura 1 Medición de velocidad de un vehículo en movimiento.

La estimación de **incertidumbre de medida** fue realizada de forma “subjetiva” usando el sentido común del observador y su experiencia, sin embargo, para propósitos de evaluación, debemos convertirla en un estimado basado en evidencia “objetiva”. Para lo anterior, existen metodologías que podemos utilizar para lograr un estimado con mayor confiabilidad y de manera objetiva. La metodología comúnmente utilizada por los laboratorios es la descrita en la “*Guide to the expression of Uncertainty in Measurement [2]*”, ó *Guía para la Expresión de la Incertidumbre de Medición (GUM)*. Donde se presenta una serie de pasos básicos que permiten realizar un estimado de la **incertidumbre de medida**, que puede ser desde una forma muy burda, hasta llegar a la complejidad de un análisis exhaustivo. La complejidad de la estimación estará dada por el grado de exactitud de la medición realizada y el tipo de fenómeno (o medición) a analizar.

El propósito de este documento es presentar una secuencia que permita estimar la **incertidumbre de medida** de manera simple, con el único propósito de que el lector se involucre con la estimación y que obtenga herramientas para que posteriormente pueda, cada vez más, realizar un estimado de mayor complejidad y que sea adecuado a su propósito particular. La determinación de la **incertidumbre de medida** no es un cálculo exacto ya que es un término probabilístico donde se utilizan diferentes suposiciones, lo que ocasiona que los estimados no siempre sean iguales para un mismo **mensurando**, de ahí que el término utilizado es “estimación” de la incertidumbre en lugar de “cálculo” de la incertidumbre (aunque se realizan cálculos). Es decir, la **incertidumbre de medida** es solo un “estimado” que puede ser variable entre diversas organizaciones que utilicen el mismo método, e inclusive instrumentación. En ese sentido, surge la problemática de ¿cómo puedo saber si realicé un buen estimado de la **incertidumbre de medida**?, pues no hay receta mágica, sin embargo, se dice que un buen estimado es aquel que refleja efectivamente la dispersión de los datos obtenidos durante la

medición y dependerá de la exactitud de la misma. Por ejemplo, el grado de rigurosidad en la determinación de la **incertidumbre de medida** (y del **mensurando**) seguramente no será la misma de la que será utilizada por un carpintero para medir la longitud de una mesa (de propósito meramente estético), a la requerida por un técnico en la medición de longitud de un bloque de referencia por interferometría láser. Así pues, en la estimación de la **incertidumbre de medida** siempre se trata de que contenga los elementos mínimos que tienen un efecto significativo en la determinación del **mensurando**.

En las siguientes secciones se presenta una serie de pasos para determinar la **incertidumbre de medida** de manera simple, y de propósito ilustrativo, en base a la GUM [2].

# 1. MODELAR

Para realizar una estimación de **incertidumbre de medida** lo primero que hay que hacer es modelar el **mensurando (magnitud que nos interesa medir)**, es decir, identificarlo y expresarlo matemáticamente en una ecuación. Este paso pudiera ser el paso más difícil de todos, ya que no es simple encontrar un modelo que represente adecuadamente lo que queremos determinar, entre mejor representado sea, mejor estimado de incertidumbre se podrá obtener. El modelo puede ser tan simple como la igualdad de 2 magnitudes o tan complejo como una ecuación de un gran número de variables interrelacionadas.

Un ejemplo de un modelo matemático simple para la calibración de un micrómetro dimensional, utilizando un bloque patrón de acero, es:

## MODELAR EL MENSURANDO

Definir un modelo que represente el proceso de medición:

$$E_{med} = L_{micro} - L_{bloque}$$

Donde:

$E_{med}$  = es el error de medición del micrómetro, en mm

$L_{micro}$  = es el promedio de las lecturas obtenidas por el micrómetro, en mm

$L_{bloque}$  = es la longitud de referencia del bloque patrón, en mm

El error de medición del micrómetro es el **mensurando**, y es función (o dependiente) de las 2 variables del lado derecho de la igualdad, llamadas **magnitudes de entrada**. Éste es un modelo muy simple que representa de manera muy burda el **mensurando**. Si lo analizáramos a detalle podríamos darnos cuenta que se hay otras **magnitudes de entrada** que no están incluidas y que en algunos casos (mayor exactitud) pudieran tener una influencia significativa en la determinación del **mensurando**. Esta es la etapa de la estimación donde se torna compleja, en el sentido de que se dificulta modelar el **mensurando** como un conjunto de variables. Es aquí donde la experiencia del metrologo se vuelve importante ya que el modelo será planteado como

mejor lo pueda imaginar. En muchos de los casos más comunes, estos modelos ya han sido definidos con anterioridad por otros pioneros, por lo que una investigación bibliográfica pudiera ayudar con la modelación.

Si tratáramos de incluir más magnitudes de entrada en el modelo anterior, en base a la experiencia y la investigación bibliográfica, se podría obtener una aproximación mejor al **mensurando**. Por ejemplo, se pueden incluir magnitudes de entrada para realizar correcciones por efecto de la temperatura en el bloque y en el micrómetro, utilizando los coeficientes de expansión térmica de ambos instrumentos, así como su propia temperatura.

El modelo matemático puede ser aproximado cada vez más a una ecuación que represente la medición realizada, y cada vez se pueden ir agregando más **magnitudes de entrada** e interrelacionándose entre ellas. Entre más completo sea el modelo, mejor representado y determinado será el **mensurando**. Para propósitos de este ejercicio continuaremos analizando el modelo simple.

## 2. IDENTIFICAR

Una vez definido el modelo con sus **magnitudes de entrada**, se identifican los factores que tienen una afectación significativa en la determinación del **mensurando**, pero que no forman parte del mismo. Es decir, aquellas que no se pueden representar en el modelo matemático pero que afectan al **mensurando**, también llamadas **magnitudes de influencia** o **fuentes de incertidumbre**.

Algunas de las **fuentes de incertidumbre** típicas en una estimación de **incertidumbre** son:

### IDENTIFICAR LAS FUENTES DE INCERTIDUMBRE

- a) La **repetibilidad de las mediciones**. El número de veces que se repite el experimento afecta directamente en la incertidumbre del **mensurando**.
- b) La incertidumbre de **calibración del instrumento de medición** usado. Entre más baja sea ésta, significa que tenemos una mayor certeza de los valores que reproduce.
- c) La **resolución del instrumento de medición**. Se relaciona con la capacidad del instrumento para observar más datos (ó dígitos) del comportamiento del **mensurando**.
- d) Otros...

Cada una de las **fuentes de incertidumbre** se distribuye estadísticamente bajo una función de probabilidad, que supone el mejor estimador de la dispersión que siguen los datos de esa fuente. Existen diferentes funciones o distribuciones de probabilidad como las que se muestran a continuación.

## DISTRIBUCIÓN NORMAL

Por ejemplo, para la **fuerza de incertidumbre** por “**repetibilidad de las mediciones**”; si graficáramos los datos obtenidos infinitamente en una medición (repetir el experimento infinitamente veces) es muy probable que la mayor parte de los datos los encontremos en una zona concentrada y que los restantes cada vez se vayan dispersando (o sean más escasos) más y más en los extremos, en otras palabras existe mayor probabilidad de que el valor buscado (**mensurando**) se localice en la zona donde se repite más veces ese valor (ilógico!). A este tipo de comportamiento probabilístico se le denomina “distribución estándar o normal” y tiene forma de una campana; una de sus características principales es que es asintótica en la base, es decir, “sus colas” tocan el cero hasta el infinito. En la figura 2 se puede entender que es más probable que el valor buscado se encuentre en el número 23.70 (valor más alto en el eje Y, es decir mayor probabilidad), un poco menos probable que se encuentre en el 23.73, menos en 23.74, y así sucesivamente hasta que casi es improbable que se localice en el 23.78 (va disminuyendo el valor del eje Y). Este tipo de comportamiento es típico (aunque no es regla) cuando se repiten experimentos para obtener el valor más probable. Este tipo de distribución comúnmente también se asigna a los valores que se reportan en los certificados de **calibración de los instrumentos de medida** (a menos que se especifique otra cosa), ya que generalmente también provienen de una serie de repeticiones que realizó el laboratorio que calibró el instrumento.

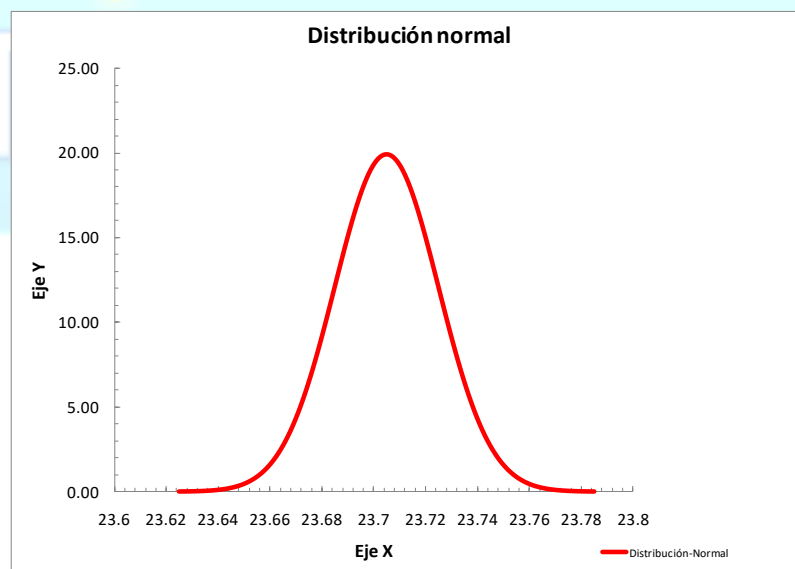


Figura 2. Distribución normal.

## DISTRIBUCIÓN UNIFORME

En el caso de la **fuerza de incertidumbre** por “**resolución del instrumento de medición**” es diferente a las anteriores, ya que el valor de resolución es una característica de operación del instrumento en la cual mide. La resolución del instrumento puede estar expresada en una escala analógica (mínima separación entre indicaciones o marcas) o digital (menor dígito significativo). En ambos casos, existe una zona donde el observador no conoce con exactitud dónde se localiza el valor medido. Ej. si el micrómetro del ejemplo presenta la lectura 23.705 mm (resolución 0.001 mm), el observador no sabe si el valor medido se encuentra exactamente en 23.705 mm



o pudiera ser 23.7047 mm o 23.7052 mm, ya que no percibe el siguiente dígito significativo (0.0001 mm). Entonces pues, existe una duda sobre el valor presentado por el instrumento, derivado de su resolución. Cuando la **magnitud** medida es muy pequeña en comparación con la **resolución del instrumento**, esta **fuerza de incertidumbre** genera una afectación considerable en el mensurando (ej. si el micrómetro mide una longitud de 0.005 mm y como su resolución es 0.001 mm, la relación resolución/magnitud es del 20 %, lo que ocasiona una duda muy grande sobre el valor medido). Generalmente, para el caso de **resolución de un instrumento** (dependiendo del tipo) se le asigna una distribución uniforme o también llamada rectangular (para resoluciones analógicas, en ocasiones se asigna una distribución tipo triangular), ya que se “supone” que existe la misma probabilidad de que el valor se localice entre 23.7045 mm y 23.7055 mm, por lo que gráficamente esta distribución tiene la forma de la figura 3.

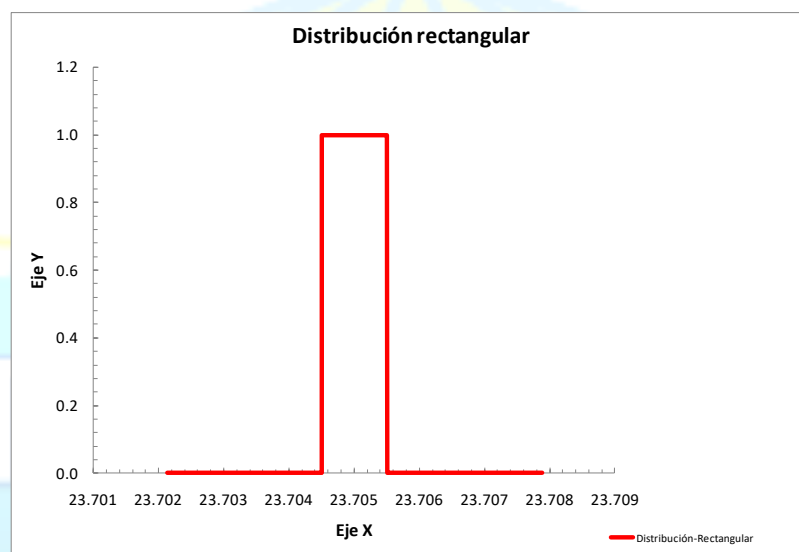


Figura 3. Distribución rectangular.

Resumiendo, a cada una de las **fuentes de incertidumbre** se les asigna una distribución probabilística que represente su comportamiento.

### ASIGNAR DISTRIBUCIÓN A LAS FUENTES DE INCERTIDUMBRE

- a) La **repetibilidad de las mediciones** --- Distribución normal.
- b) La incertidumbre de **calibración del instrumento de medición** --- Distribución normal.
- c) La **resolución del instrumento de medición** --- Distribución uniforme.

# 3. CUANTIFICAR

## MENSURANDO

La cuantificación consiste en determinar el valor más probable del **mensurando**, es decir; por ejemplo, el promedio de una serie de datos o en su defecto el valor único. Se determina a través del modelo matemático, simplemente se sustituyen las variables del modelo (**magnitudes de entrada**) por su valor. Estas **magnitudes de entrada** se determinan de la misma forma, ya que cada una de ellas puede ser tratada como otro **mensurando** que es necesario para determinar el **mensurando** final de interés. Si es complejo, se puede aislar la variable y tratarla por separado para simplificar el análisis.

### CUANTIFICAR EL MENSURANDO

$$E_{med} = L_{micro} - L_{bloque}$$

Donde, ejemplificando valores:

$$L_{micro} = (23.705; 23.706; 23.704; 23.705; 23.705) \text{ mm} = 23.705 \text{ mm (promedio)}$$

$$L_{bloque} = 23.708 \text{ mm}; U(k = 2) = 0.005 \text{ mm (del certificado de calibración)}$$

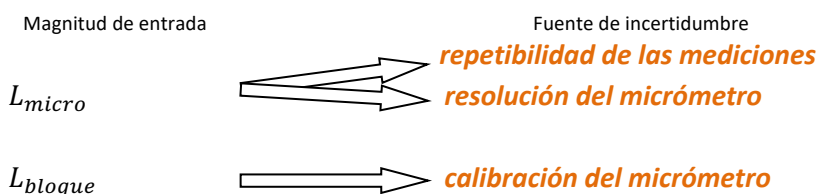
Por tanto se cuantifica el mensurando como:

$$E_{med} = 23.705 - 23.708 = -0.003 \text{ mm}$$

## INCERTIDUMBRES ESTÁNDAR

Así mismo, es necesario cuantificar las incertidumbres estándar correspondientes a cada una de las **magnitudes de entrada** del modelo. La incertidumbre de cada **magnitud de entrada** o variable del modelo, es afectada por sus correspondientes **fuentes de incertidumbre** por lo que son consideradas en dicha estimación.

En el modelo del ejemplo, se identificaron 2 **magnitudes de entrada**, por lo que cada una de ellas requiere una estimación de incertidumbre que se asocia con sus respectivas **fuentes de incertidumbre**, como:



A continuación se estima la incertidumbre estándar de cada una de las **fuentes de incertidumbre**, utilizando las siguientes fórmulas [2]:

**Fuente de incertidumbre** por **repetibilidad de la medición**:



$$u(\text{repetibilidad}) = \frac{\text{Desviación estándar muestral}}{\sqrt{\text{número de repeticiones}}}$$

Se cuantifica dividiendo la desviación estándar experimental de la media de las lecturas obtenidas, entre la raíz del número de repeticiones (o lecturas) realizadas. La letra “u” se utiliza para denotar la incertidumbre estándar.

**Fuente de incertidumbre** por **calibración del instrumento** de medición:

$$u(\text{calibración}) = \frac{\text{Incertidumbre expandida de calibración}}{\text{factor de cobertura}}$$

Se cuantifica dividiendo la **incertidumbre expandida** proporcionada en el certificado de calibración del instrumento, entre el **factor de cobertura** utilizado y reportado en el mismo certificado (comúnmente es igual a 2). Más adelante se abordará el término de **incertidumbre expandida** y **factor de cobertura**.

**Fuente de incertidumbre** por **resolución del instrumento** de medición:

$$u(\text{resolución}) = \frac{\text{Intervalo de probabilidad}}{\sqrt{12}} = \frac{\text{Resolución del instrumento}}{\sqrt{12}}$$

Se cuantifica dividiendo la resolución del instrumento de medición utilizado, entre la raíz de 12.

Cada fuente de incertidumbre se asocia con una o varias **magnitudes de entrada**, que será la **magnitud** donde ésta surge su efecto. En el ejemplo se observa que la repetibilidad de las lecturas producidas por el micrómetro y la resolución del mismo, son fuentes que surten un efecto sobre la determinación de  $L_{\text{micro}}$ . Así mismo, la incertidumbre de calibración del bloque patrón ejerce una afectación sobre  $L_{\text{bloque}}$ .

## CUANTIFICAR INCERTIDUMBRES ESTÁNDAR

**Incertidumbres asociadas con  $L_{\text{micro}}$ :**

$$u(\text{repetibilidad}) = \frac{\text{Desviación estándar muestral}}{\sqrt{\text{número de repeticiones}}} = \frac{0.00071}{\sqrt{5}} = 0.00032 \text{ mm}$$

$$u(\text{resolución}) = \frac{\text{Resolución del instrumento}}{\sqrt{12}} = \frac{0.001}{\sqrt{12}} = 0.00029 \text{ mm}$$

**Incertidumbres asociadas con  $L_{\text{bloque}}$ :**

$$u(\text{calibración}) = \frac{\text{Incertidumbre expandida de calibración}}{\text{factor de cobertura}} = \frac{0.005}{2} = 0.0025 \text{ mm}$$

## COEFICIENTES DE SENSIBILIDAD

En este punto, ya se tiene un estimado de la incertidumbre estándar del valor de cada una de las **fuentes de incertidumbre** asociadas al modelo matemático, sin embargo, cada una de ellas podría influir de manera diferente en el mensurando. Es decir, algunas fuentes pudieran tener un mayor peso o efecto sobre la determinación del **mensurando**. Para lo anterior, se realiza un procedimiento matemático básico, que es derivar parcialmente el **mensurando** con respecto a cada una de las **magnitudes de entrada**. A esta derivación se le denomina **coeficiente de sensibilidad**, que como el nombre lo dice, es un número (o variable) que indica que tan “sensible” es el **mensurando** a un cambio de esa variable (**magnitud de entrada**). Entre mayor sea el número (en absoluto) más sensible será el **mensurando** a cambios de esa variable.

### CUANTIFICAR COEFICIENTES DE SENSIBILIDAD

**Derivar el mensurando con respecto a cada una de las magnitudes de entrada:**

$$\text{Coeficiente de sensibilidad para } L_{\text{micro}} = \frac{\partial E_{\text{med}}}{\partial L_{\text{micro}}} = 1$$

$$\text{Coeficiente de sensibilidad para } L_{\text{bloque}} = \frac{\partial E_{\text{med}}}{\partial L_{\text{bloque}}} = -1$$

Nota: solo hay 2 magnitudes de entrada, por lo que solo hay 2 coeficientes de sensibilidad.

Si hubiera más variables, se calcularía una derivada para cada una de ellas, de tal forma que el número de **coeficientes de sensibilidad** será igual al número de variables en el modelo. En este caso se observa que ambas **magnitudes de entrada** tienen el mismo peso sobre el **mensurando**, ya que su valor absoluto es igual a 1. Si no sabemos derivar parcialmente no nos preocupemos en demasía, ya que existen varios software de derivación que nos permiten hacer esos cálculos. Muy burdamente, lo que se hace para derivar es que la **magnitud de entrada** con respecto a la cual se deriva el **mensurando** se considera como una variable en el modelo, mientras que las demás **magnitudes de entrada** se consideran como constantes.

Cuando no se tiene un modelo matemático, estos coeficientes se determinan de manera experimental variando cada una de las **magnitudes de entrada** y registrando el cambio que producen en el **mensurando**. Esa razón de cambio es el **coeficiente de sensibilidad**. Sin embargo, en un gran número de ocasiones esta experimentación es costosa y/o inviable.

## 4. COMBINAR

Una vez que se ha identificado y cuantificado el **mensurando**, **magnitudes de entrada** y **fuentes de incertidumbre**, se procede a realizar una combinación de tal forma que se obtenga un valor de incertidumbre total sobre la determinación del **mensurando**. En el ejemplo anterior, se

identificó y determinó el valor de incertidumbre de cada una de las **fuentes de incertidumbre**, así como sus **coeficientes de sensibilidad** de las variables (**magnitudes de entrada**) en el modelo. A continuación resta aplicar la ley de propagación de incertidumbres (GUM [2]) para determinar una incertidumbre “combinada”:

$$uc = \text{incertidumbre combinada} = \sqrt{\sum (\text{Coeficiente de sensibilidad} \cdot \text{incertidumbre})^2}$$

Que en otras palabras, la **incertidumbre combinada** es la raíz cuadrada de la suma cuadrática de cada uno de los **coeficientes de sensibilidad** multiplicado por la **incertidumbre de medición** de cada una de las variables (**magnitudes de entrada**). La ecuación anterior, es una forma simplificada de la ley de propagación, donde se descarta la posibilidad de exista correlación entre variables (no siempre aplica esta suposición).

La multiplicación del **coeficiente de sensibilidad** por la **incertidumbre de medida** de cada variable es llamado el “aporte de incertidumbre” de cada una de las **magnitudes de entrada** del modelo. Es decir, la contribución de incertidumbre de cada una de las variables está dada no solo por el peso de la variable (**coeficiente de sensibilidad**), sino que además es función de la incertidumbre de la misma variable, por lo que el múltiplo de ambos es el aporte que tiene la variable en la estimación de incertidumbre del **mensurando**. Entre mayor sea el aporte, más crítica será esa variable en el estimado del **mensurando**, y generalmente la que se procura controlar durante la medición, debido a su considerable efecto.

Del ejemplo, tenemos:

### COMBINAR INCERTIDUMBRES

**Combinar las incertidumbres de cada magnitud de entrada:**

$$uc = \text{incertidumbre combinada} = \sqrt{\sum (\text{Coeficiente de sensibilidad} \cdot \text{incertidumbre})^2}$$

$$uc = \sqrt{\left(\frac{\partial E_{med}}{\partial L_{micro}} \cdot u(L_{micro})\right)^2 + \left(\frac{\partial E_{med}}{\partial L_{bloque}} \cdot u(L_{bloque})\right)^2}$$

$$uc = \sqrt{(1)^2 \cdot [u^2(\text{repetibilidad}) + u^2(\text{resolución})] + (-1)^2 \cdot [u^2(\text{calibración})]}$$

$$uc = \sqrt{u^2(\text{repetibilidad}) + u^2(\text{resolución}) + u^2(\text{calibración})^2}$$

$$uc = \sqrt{(0.00032 \text{ mm})^2 + (0.00029 \text{ mm})^2 + (0.0025 \text{ mm})^2} = 0.00254 \text{ mm}$$

La **incertidumbre combinada** obtenida, según los cálculos anteriores, es el intervalo en el cuál es más probable que el valor del **mensurando** se encuentre. Es decir, es probable que el error de medición del micrómetro en el punto calibrado sea de -0.003 mm, con una incertidumbre estándar de 0.00254 mm. Graficando el aporte de cada una de las fuentes de incertidumbre, se

observa que el mayor aporte proviene de  $L_{bloque}$ , debido a la calibración del bloque; en seguida la repetibilidad de las mediciones y finalmente la resolución del micrómetro.

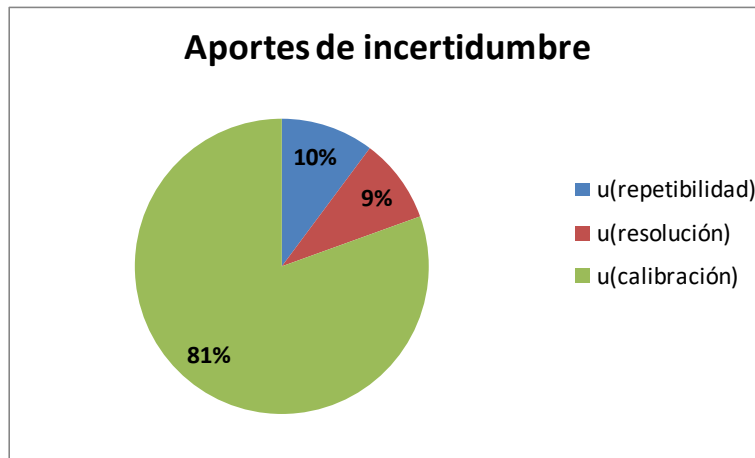


Figura 4. Aportes de las fuentes de incertidumbre.

## 5. EXPANDIR

La incertidumbre combinada determinada en el paso anterior, presenta una confiabilidad de aproximadamente 68 % de que el valor se encuentre en ese intervalo (considerando una distribución normal). A fin de incrementar esa confiabilidad, la **incertidumbre combinada** se multiplica por un **factor de cobertura** que generalmente es cercano a 2 y se representa con la letra "k". La incertidumbre resultante es llamada "**Incertidumbre expandida**",  $U$ , y es la que típicamente se reporta en un informe de medición. Esto es:

### DETERMINAR INCERTIDUMBRE EXPANDIDA

**Multiplicar la incertidumbre combinada por el factor de cobertura:**

$$U = \text{incertidumbre expandida} = \text{factor de cobertura} \cdot \text{incertidumbre combinada}$$

$$U(E_{med}) = 2 \cdot u_c(E_{med}) = 2 \cdot 0.00254 \text{ mm} = 0.0051 \text{ mm}$$

Si la distribución no se comporta normalmente, el factor de cobertura puede ser estimado usando otra aproximación como la t-student, no abordado aquí.

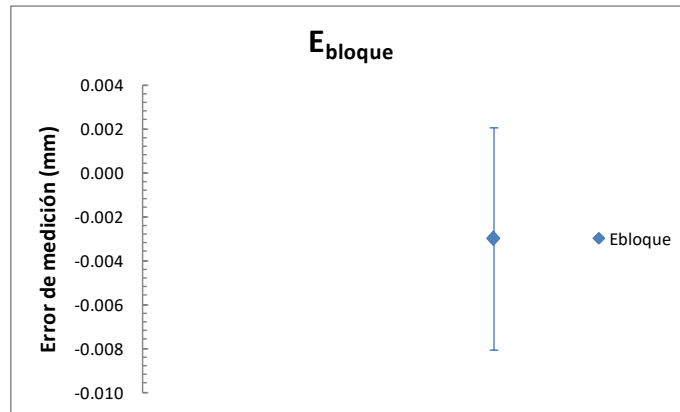


Figura 5. Gráfico del mensurando con incertidumbre expandida.

El presente documento es meramente un ejercicio didáctico que no debe ser utilizado para otros propósitos, ya que su objetivo es presentar de una forma simple cómo se realiza el proceso de estimación de **incertidumbre de medida**, por lo que puede estar sujeto a diferencias de criterio y opinión. La estimación de incertidumbres en una organización, deberá ser un proceso elaborado a conciencia, fundamentado en bibliografía y la experiencia y conocimiento del metrologo, de tal forma que sea representativo de la actividad a desarrollar y sea adecuado a los alcances y exactitudes del laboratorio.

Obtenga una **MUESTRA GRATIS** del Manual de calidad ISO/IEC 17025, Procedimientos y Formatos en [www.metrycal.com](http://www.metrycal.com)

**Guía para Implantar un Sistema de Gestión ISO/IEC17025**



**METRYCAL**  
[www.metrycal.com](http://www.metrycal.com)

**¡Acreditación segura!**

Metrología y Calidad

## Referencias

- [1] International Vocabulary of Fundamental and General Terms in Metrology, BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAP, IUPAC, OIML (1993).
- [2] Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement, BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAP, IUPAC, OIML (1995).